建置節水灌溉與雨水收集循環利用處理系統之試驗研究

田雲生、張金元、曾宥絃、郭雅紋、戴振洋、陳盟松、陳世芳、白桂芳
行政院農業委員會臺中區農業改良場

一、摘要

於彰化縣黃金廊道及臺中區農業改良場設置節水灌溉與雨水收集系統試驗點，並導入遠端監控生產管理模式，可供相關農友參考應用。關於不同作物灌溉試驗結果：溫室花胡瓜滴灌較噴灌、淹灌分別節水 48.2%及 80%；網室花胡瓜滴灌較淹灌節水 85.8%；露地青蔥之滴灌較淹灌節水 71.2%；紅龍果噴灌較淹灌節水 12.9%。另針對露地節水栽培與噴霧作業需要，試驗研製 1 台乘坐式噴霧兼肥灌機具，並於甘藍栽培區進行試驗應用，該機具搭配管路滴灌較淹灌節水 94.8%、節肥 55.5%。自 104 年至 106 年間，共計輔導 26 位農民設置「園藝作物節水節肥灌溉系統」，面積達 9.01 ha，皆可達到省工及節水節能的目的。

關鍵字：節水灌溉、雨水收集、黃金廊道

二、前言

黃金廊道係「黃金廊道農業新方案暨行動計畫」的簡稱，也是指彰化縣南部與雲林縣高鐵沿線 3 km(軌道中心左右各 1.5 km)範圍內的農業用地。行政院農業委員會於民國 102 年針對「黃金十年－國家願景」的施政方向，以「樂活農業」為主軸，配合「經濟動能推升方案」，所提出並推動的綜合性農業行動計畫，除輔導農民調整種植低耗水性作物、運用科技節水生產，並引進新農民、新技術以帶動相關產業發展，計畫分項執行的工作項目達 33 項之多。其中彰化縣是臺灣農業生產重鎮，其南部的溪州、埤頭及竹塘等 3 鄉 19 村列為黃金廊道推動範圍，亦是地層嚴重下陷區之一。臺中區農業改良場(以下簡稱為本場)本著服務轄區農民與地緣之便，負責辦理「園藝作物節水節肥灌溉系統之推廣應用」，協助解決農業生產節水灌溉相關問題。經調查了解該地區農民耕作習慣與灌溉方式，一部分引進濁水溪水源加以利用；另一部分則抽取地下水，而過度抽用地下水即可能衍生地層下陷的危機與疑慮。而傳統蔬果、花卉等園藝作物大多採行淹水灌溉，相當耗費水資源，遂於 103 年至 106 年在彰化縣黃金廊道推動區域及本場試驗田區設置設施、露地栽培試驗點，依不同作物生長管理而設置組裝管路灌溉施肥、雨水收集儲存系統加以示範應用，並進行節水節肥效益調查與使用成本分析等，以建立最適節水灌溉管理模式，進而推廣予黃金廊道及輔導週邊栽培農友參考運用。期望藉由地下水需求降低與推廣地面水取代部分地下水的生產方

式，達到水土資源和諧利用，協助減緩地層下陷問題，降低地區農業用水量，確保國土安全為本研究的主要目標。

三、材料與方法

3.1 試驗點選擇設置與試驗項目：

3.1.1 彰化縣溪州鄉設施蔬菜試驗點

(1)遴選 2 連棟圓頂鋞管塑膠布溫室(0.11 ha，長 90×寬 12 m)及網室(0.13 ha，長 148.7×寬 8.95 m，16 目綠色防蟲網)各 1 處作為試驗點，配合試驗戶栽植花胡瓜的生產模式，分別建置本場研發之自動養液肥灌主機，其中 2 連棟溫室試驗點搭配裝設 5 組文氏管型式之注肥器，供為單質肥料試驗之用，以及設計組裝具有 8 組分區控制系統，可作為不同田區、不同作物之管理應用。另前者規劃將 2 連棟溫室分別以穿孔管(管徑 1”)灌溉與滴灌(管徑 14 mm)作業管理，其用水用肥採自動流量監測與記錄；後者則將網室分為前後 2 區，各以穿孔管(管徑 1”)灌溉與傳統淹灌之作業方式進行試驗比較。

(2)針對該 2 連棟溫室試驗點，藉由圓拱型屋頂中間連結處之 PVC 排水管收集雨水，採前後雙側承接再匯集，經篩網過濾雜物後，以 4 個容量各 10 ton 之 PE 材質塑膠桶加以儲存，試驗記錄降雨收集量與監測塑膠桶雨水流出時之 EC、pH 值等，以及調查分析雨水通過砂濾裝置、UV 紫外線殺菌燈與否之差異；另調查比較地下水經由曝氣、砂濾裝置前後之異同，以為水質處理與否和修正收集桶最適裝設之參考依據。又配合 2 連棟溫室試驗戶應用節水灌溉與雨水收集利用系統，進行其生產管理相關成本調查與分析。2 連棟溫室試驗點規劃配置之水質處理、肥灌與雨水收集處理系統示意圖如圖 1 所示。

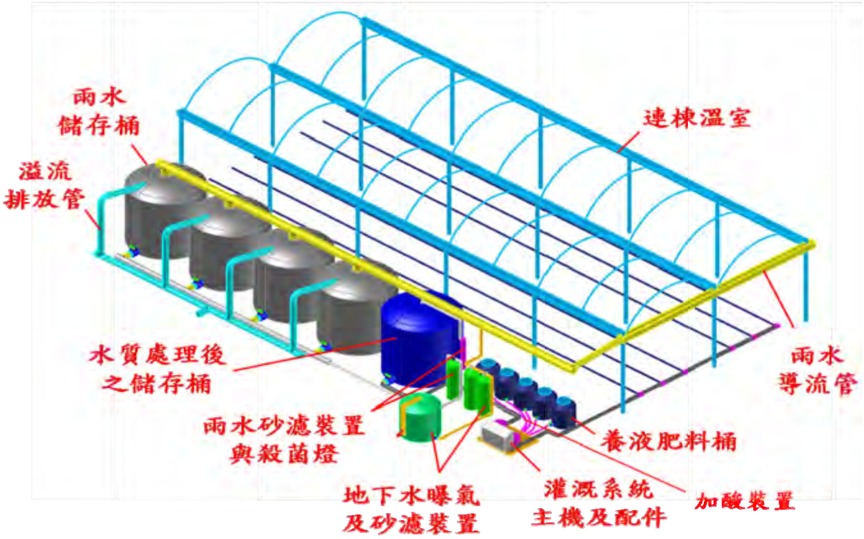

圖 1 二連棟溫室試驗點規劃之水質處理、肥灌與雨水收集處理系統示意圖

3.1.2 本場露地青蔥及紅龍果試驗點

(1)青蔥試驗點：配置之灌溉施肥監控主機可監測、顯示、儲存流量、壓力、EC、pH 及時間序列等資料，最多具有 8 作業分區之個別控制功能，並將養液經 PLC 主機及人機介面控制調整輸出量，讓適量養液肥料與灌溉水稀釋混合後，藉由 PVC 管路輸送到溫室或露地田區，其中露地田區分為滴灌與淹灌 2 組，每組 4 畦，畦長 23 m、畦面寬 1 m，每畦 4 行、每行 85 叢，滴灌組設計每畦 5 條滴灌管作業；另一相同面積田區則採淹水灌溉方式與慣行法管理，並進行 2 組間之灌溉用水記錄調查與株高、產量之比較。該主機除露地青蔥試驗分區監控記錄之外，其餘 7 分區併同作為周邊試驗溫室給水給肥之管理應用。青蔥試驗點規劃設計之配置圖如圖 2 所示。

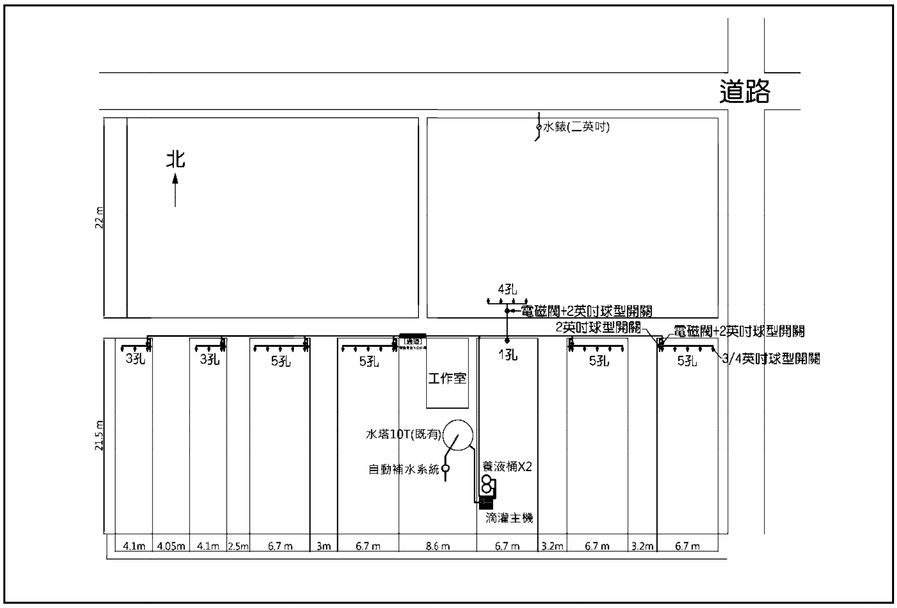

圖 2 青蔥試驗點規劃設計之配置圖

(2)紅龍果試驗點：規劃設計紅龍果試驗區之自動灌溉施肥、監測與分區控制系統，其作業功能與青蔥試驗點類同，而灌溉水來源使用既有 2 只共 5 ton (2+3 ton) PE 儲水桶，另增設 3 ton 儲水桶 2 只，分別作為曝氣及淨水儲存之用，再供給噴灌、滴灌及水質處理與否等 8 行不同處理(包括 2 保護行)之作物肥灌應用，以及進行管路肥灌與傳統肥灌之用水效能比較。另灌溉水監測系統亦包括流量、EC、pH 等監測，同樣由灌溉施肥監控主機顯示，抑或儲存資料於遠端電腦供後續分析運用。紅龍果試驗點規劃設計之配置圖如圖 3 所示。各處理組之行長 43 m、株距約 0.8 m，在 104 年 10 月初花苞形成至果實採收進行相關用水量及果重調查。

3.1.3 彰化縣竹塘鄉露地甘藍試驗點

有鑒於彰化縣黃金廊道推動區域之作物生產，露地面積遠大於設施栽培規模，除了推動設施節水節肥灌溉系統外，亦嘗試針對露地栽培大宗蔬菜之甘藍為選項，考量葉菜類作物每季產期僅約 3 個月左右，甚至土地採短期租賃栽培，故定置式

之肥灌主機等設備經評估較不適用，遂規劃設計並研製 1 台可移動之乘坐式噴霧兼肥灌機具，其機體設定為長 550~650 cm、寬 210~230 cm、高 210~230 cm，動力為四缸水冷式 60 KW 以上柴油引擎，前 2、後 4 六輪式車輪；蓄水桶採 304＃不銹鋼材質，載重量 8~10 ton，內設分隔板，以及配備有噴藥桶、抽水機、噴霧機與高壓捲管等裝置，其示意如圖 4 所示。

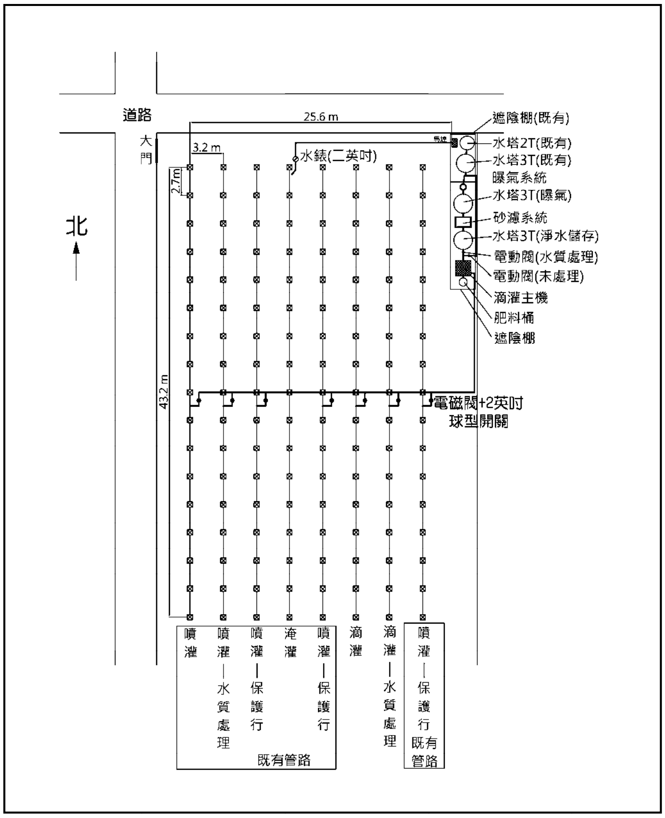

圖 3 紅龍果試驗點規劃設計之配置圖

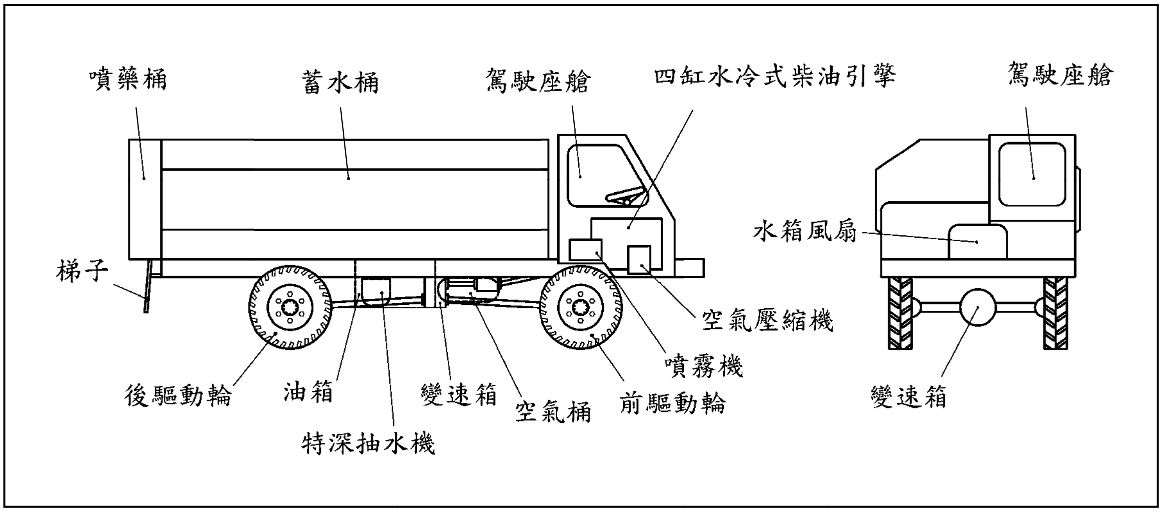

圖 4 規劃設計之乘坐式噴霧兼肥灌機具示意圖

於彰化縣竹塘鄉遴選1處0.28 ha甘藍園作為乘坐式噴霧兼肥灌機具管灌試驗點，配合菜農栽培習慣，共20雙畦、2單畦，每行鋪設1條滴管，主管銜接口設有碟型過濾器，於105年8月中旬定植台中2號菜苗，每週以乘坐式噴霧兼肥灌機具裝載稀釋之即溶複合肥料進行肥灌作業；隔壁對照區域約0.12 ha，採慣行法淹灌與施粒肥，進行用水用肥及產量之調查比較。

3.2 輔導設置園藝作物節水節肥灌溉系統分析比較：

調查統計自104至106年止，於彰化縣黃金廊道推動區域共計輔導蔬果、花卉栽培農友設置「園藝作物節水節肥灌溉系統」，針對申請建置農戶與面積數、地區別、生產作物品項、採用設施或露地栽培、使用管路灌溉類型等加以分析比較，供為後續試驗研究與政府施政計畫規劃之參考。

四、結果與討論

(一)彰化縣溪州鄉2連棟圓頂鋸管塑膠布溫室及水平棚架網室試驗點，分別配合試驗農戶生產期程種植花胡瓜，其用水情形經調查結果顯示，滴灌比噴灌節水48.2%，並較傳統淹水灌溉更節省 85.8%；另藉由該連棟溫室之集水槽，將雨水收集導入PE塑膠桶內儲存，若以連續降雨量80毫米的條件下，試驗溫室實際可收集約18 ton雨水，依試驗戶栽培習慣估算，可提供花胡瓜幼苗期噴灌4~8天或滴灌6~10天之使用量。在地下水質分析方面，比較地下原水、曝氣後及砂濾後之試驗結果如表1所示，其三者之pH皆介於7左右，差異不大；鐵值由原水之1.00 ppm降為0.06及0.02 ppm，可知利用曝氣裝置可達預期效果，砂濾則更具加乘效果；EC值與鈣質三者稍高，顯示肥料使用量與施用時機仍需再予以修正；其他成分之差異皆不大，尚屬正常。關於雨水分析方面，在砂濾前後之pH值介於7.0~7.1，EC值由0.31降為0.17 dSm^{-1}，皆在正常範圍；其他磷、鉀、鎂、鈉等含量不高，亦屬潔淨。儲存桶內與經 UV 殺菌燈之雨水，總菌數分別為 0.4×10^4 及 0.18×10^4 CFU/mL，靜置三個月則為 1.31×10^4 及 0.71×10^4 CFU/mL，可知桶內雨水無流通之菌數有增多趨勢，但通過殺菌燈則減半。

表1 地下水水質分析結果

處理別	pH	EC dSm^{-1}	磷	鉀	鈣	鎂	鈉	銅	錳	鋅	鐵	NH^{+4}	NO^{-3}
			ppm										
地下水	6.95	1.22	0.30	6	216	60	16	0	1.00	0	1.00	0.07	0.25
曝氣後	7.23	1.22	0.31	6	183	51	17	0	0.74	0	0.06	0.07	0.25
砂濾後	7.13	1.21	0.30	6	181	49	17	0	1.00	0	0.02	0.07	0.21

(二)彰化縣溪州鄉二連棟(0.45ha)三區域輪作式(共種植 8 期作物)設施土耕花胡瓜，進行管路滴灌作業之用水量記錄及生產成本調查，自 104 年 12 月初至 105 年 11 月下旬止，全年用水量 3869.4 ton，較傳統淹灌約減少 80%以上水資源；使用肥灌相關設備之生產成本分別為 1,721 及 1,623 千元，雖設置管路灌溉之成本較高，但約可節省 90 工(人日)進行其他管理工作，以及 1/3 之肥料費用開支。另，使用肥灌設備與否之收支純益分別達 1,294 及 1,392 千元，主要原因是試驗溫室及農作物因梅姬颱風影響較輕微，且花胡瓜災後短期售價大幅提高所致。反觀 104 年遭逢蘇迪勒及杜鵑颱風影響，部分塑膠布、農作物損傷，並衍生病蟲危害，經調查其純益僅 10.2 元/m^2，所以農業生產因天候及產銷影響收益至鉅。

(三)在青蔥試驗方面，第 1 次試驗自 104 年 7 月初定植至 9 月 7 日採收止，管路滴灌組與傳統淹灌組之用水量分別為 7.9、30.0 ton，換算滴灌較淹灌節水約 74%；每 20 株平均鮮重分別為 3.31 及 2.42 kg。第 2 次試驗則於 10 月 8 日定植，灌溉用水統計至 11 月 25 日止，管路滴灌用水量為 9.5 ton，慣行淹水灌溉則為 32.9 ton，可知滴灌比淹灌節省 71.2%。另，導入無線基地台與遠端監控裝置於管理作業，青蔥試驗區與紅龍果試驗區相關水質、用水用肥等紀錄資料，皆可由本場農機研究室之電腦主機或操作者手機予以監測、擷取，甚至直接控制作業，達到遠端走動式管理的智慧型農業發展。

(四)紅龍果試驗方面，各處理組行長 43 公尺、株距約 0.8 公尺，在 104 年 10 月初花苞形成至果實採收進行相關用水量試驗。淹灌處理組在 10 月初至 11 月 25 日的用水量 32.6 ton，果實總產量為 53,913.9 g，平均果重 477.1 g。噴灌處理組用水量 28.4 ton，果實總產量為 61,106.9 g，平均果重 433.4 g。在平均果重方面並無差異，但噴灌處理組可省水 4.2 ton，約 12.9%。另利用管路滴灌系統應用於紅肉種紅龍果栽培管理之調查結果顯示，地下水經曝氣、砂濾等水質處理之總產量 86,709.5 g、平均果重 581.9 g，以及無水質處理之總產量 87,002 g、平均果重 583.9 g，兩者間無論作物生長與產量皆無明顯差異，可知使用水質處理設備與否，在試驗初期對於果重並無影響。另在原水水質方面，因試驗區之灌溉用水的水質較差，有許多的沉澱物，可能會造成未來滴灌管之阻塞，後續將嚴格監測記錄分區輸水情形，並評估是否增加注酸等水質處理設備之應用。

(五)針對露地蔬菜節水灌溉管理所需，試驗研製 1 台乘坐式噴霧兼肥灌機具，其空機重(未裝水)約 4 ton，蓄水桶容量 9.8 ton、噴藥桶容量約 540 L；該機於道路以時速 25 km/hr 行駛，轉彎半徑約 5.1 m，每公里耗油量 647 cc；當泵浦轉速 415 rpm，儲水桶滿載 9.8 ton 之灌溉時間約 56 min；另機體長寬高為 5.8×2.1×2.2 m，稍顯龐大，除裝設燈光、喇叭、警示器等降低危險外，亦赴公所申請農機使用證與號牌，以期兼顧機械性能與操作安全。另配合彰化縣竹塘鄉試驗戶於 105 年 10 月下旬採收時進行灌溉用水量整理及產量調查，其中慣行淹灌法換算每公頃用水量 2967.9 ton，管路滴灌法為 152.9 ton，可節省水資源 94.8%；每公頃慣行淹灌法之總用肥

量 66.7 包；管路肥灌為 42.9 包，可節省肥料費用 55.5%；淹灌法平均每公頃產量 6.3 ton，滴灌法 8.3 ton，由於試驗田區遭逢梅姬颱風不同程度的影響，致產量皆大幅銳減，惟相關產量結果僅供記錄參考。而 106 年完成乘坐式噴霧兼肥灌機具之缺失改良，亦配合彰化縣竹塘鄉試驗戶生產期程，進行台中 2 號甘藍之栽培經費開支等調查紀錄，惟甘藍苗於 5 月中旬定植後，接連遭逢 0601 及 0613 豪雨侵襲,致作物全數淹死而試驗中斷,將俟農戶復耕後再重新進行各項調查記錄工作。

(六)調查統計自 104 至 106 年底止，於彰化縣黃金廊道推動區域(公告之溪州、埤頭、竹塘等 3 鄉 19 村範圍內)，共計輔導 26 農戶(包括預估可於 106 年底完成建置驗收的 2 農戶)設置「園藝作物節水節肥灌溉系統」，面積約 9.01 公頃，其設置地點分別為溪州鄉 19 農戶、埤頭鄉 5 農戶、竹塘鄉 2 農戶，可知溪州鄉農友對於管路灌溉系統之需求較高，比例達 73.1%；栽種的作物各為果菜類之胡瓜、小果番茄、彩椒、冬瓜等，短期葉菜類，果樹之無花果、木瓜，以及花卉之洋桔梗、景觀苗木等,其彙整結果如表 2 所示;設施栽培或露地栽培所使用之末端管路型式，包括滴灌、穿孔管、微噴與噴頭等 4 類，調查結果如表 3 所示。可知農戶設置灌溉系統以蔬菜生產為大宗，佔 76.9%，其次為花卉(含景觀苗木)及果樹；設施與末端管路的型式以鋼骨加強型溫室及滴灌作業最多，顯示農戶對於耐風結構與節水灌溉之觀念已漸趨改變。

表 2 彰化縣節水節肥灌溉系統之應用比較單位：農戶數

作物別	年度				小計（%）
	103	104	105	106	
蔬菜	0	13	4	3	20（76.9）
花卉	0	2	1	1	4（15.4）
果樹	0	1	0	1	2（ 7.7）
合計	0	16	5	5	26（100）

表 3 彰化縣輔導設置之設施及管路灌溉型式+單位：農戶數

管路別	設施別			小計（%）
	溫室	網室	露地	
滴灌	12	6	0	18（69.3）
穿孔管	1	1	1	3（11.5）
微噴	2	0	0	2（ 7.7）
噴頭	2	1	0	3（11.5）
合計	17	8	1	26（100）

(七)於 104 年 7 月 8 日假彰化縣溪州鄉陳姓農友的花胡瓜溫室召開「黃金廊道－節水灌溉與雨水收集處理系統示範觀摩會」，除指導農民有關設施節水灌溉技術、肥料選用與調配方法，以及展示連棟溫室收集雨水的概念外，亦說明政府鼓勵農民設立滴灌、微噴灌等節水灌溉與肥灌系統，黃金廊道專區補助灌溉資材費用 70％，共計 95 位來賓、農友參加。另於 105 年 11 月 25 日假彰化縣竹塘鄉黃姓農友之小果番茄溫室召開「黃金廊道－設施節水節肥灌溉生產技術示範觀摩會」，推廣管路灌溉與宣導設施節水栽培觀念，共計 120 位來賓、農友與會觀摩及互動交流。又於各類推廣活動、地區說明會及農民學院授課等機會，加強宣導節水灌溉的技術、優點及設置方法，並親臨現地提供設施或管路肥灌、分區控制、水質處理等相關技術，期望落實節約水資源與省工栽培的成果。

五、結論

於彰化縣黃金廊道推動區域及本場設置節水灌溉與雨水收集系統試驗點，組裝水質處理、肥灌及分區控制等設備，並導入遠端監控生產管理，各項試驗結果可供相關農友參考應用。針對水質分析結果，地下原水經曝氣、砂濾處理後，pH、EC 無改變，但鐵質明顯下降；雨水在砂濾前後之 pH 介於 7.0~7.1，EC 由 0.31 降為 0.17 dSm^{-1}，皆在正常範圍。儲存桶內雨水若無流通，總菌數有增多趨勢，但通過 UV 殺菌燈則可減半。二連棟鋜管塑膠布溫室降雨量在 80 mm 情況下，實際流入 4 只儲存桶的雨水量約 18 ton，可提供花胡瓜幼苗期噴灌 4~8 天或滴灌 6~10 天使用。

關於不同作物灌溉試驗結果：溫室花胡瓜滴灌較噴灌、淹灌分別節水 48.2％及 80％；網室花胡瓜滴灌較淹灌節水 85.8％；露地青蔥之滴灌較淹灌節水 71.2％，採收後株高與 20 株鮮重各增加 13.4％及 32.5％；紅龍果噴灌較淹灌節水 12.9％，地下水經曝氣、砂濾處理與否，其總產量及平均果重皆無差異與影響。另針對露地節水栽培與噴霧作業需要，試驗研製 1 台乘坐式噴霧兼肥灌機具，並於彰化縣竹塘鄉甘藍栽培區進行試驗應用，其中機具搭配管路滴灌較傳統淹灌節水 94.8％、節肥 55.5%，但產量則因颱風、豪雨等天災影響而屢屢不準確。

自 104 年至 106 年間，於彰化縣黃金廊道推動區域輔導 26 位農民設置「園藝作物節水節肥灌溉系統」，面積共 9.01 ha，運用滴灌、穿孔管、微噴與噴頭式等類型之末端管路，進行果菜類之胡瓜、小果番茄、彩椒、冬瓜，短期葉菜類，果樹之無花果、木瓜，以及花卉之洋桔梗、景觀苗木等，皆可達到省工及節水節能的目的。

六、參考文獻

1. 王俊傑，2010，作物栽培精準滴灌控制系統之應用研究，中興大學生物產業機電工程學系碩士論文。

2. 田雲生，2013，赴荷蘭研習心得分享－荷蘭永續節能溫室生產技術與應用，p.13- 20 臺中區農業改良場一〇一年專題討論專集，臺中區農業改良場特刊第116號。
3. 田雲生，2015，灌溉施肥技術簡介，節水節肥灌溉技術，臺中區農業專訊89: 4-6。
4. 田雲生、張金元，2015，節水措施與管路灌溉施肥技術推展現況，節水節肥灌溉技術，臺中區農業專訊，89: 13-16。
5. 田雲生、張金元，2015，設施雨水收集系統介紹應用，農業世界，388: 19-23。
6. 田雲生、曾康綺，2015，節水灌溉抗大旱，黃金廊道示範觀摩會，臺中區農情月刊，第192期第一版推廣活動專欄，行政院農業委員會臺中區農業改良場發行。
7. 田雲生、黃麗美，2016，設施滴灌真省水，黃金廊道展亮點－本場舉辦設施節水節肥灌溉生產技術示範觀摩會，臺中區農情月刊，第208期第2版，行政院農業委員會臺中區農業改良場發行。
8. 陳令錫，2012，省工自動灌溉施肥系統介紹及應用於洋桔梗栽培，p.45-55，洋桔梗栽培及利用專刊，臺中區農業改良場特刊第110號。
9. 陳令錫，2013，省工節水之自動肥灌系統簡介，農政與農情，251: 89-92。
10. 陳令錫、田雲生、何榮祥，2010，直列並排文氏管注入器肥灌系統之養液輸出性能研究，臺中區農業改良場研究彙報，107: 13-23。
11. 陳令錫、戴振洋、田雲生、何榮祥，2009，自動注入式施肥灌溉系統使用於介質槽耕栽培胡瓜之研究，臺中區農業改良場研究彙報，104: 29-37。
12. 郭勝豐、譚智宏、林尉濤、何逸峰，2010，以色列管路灌溉與水循環利用技術，省水管路灌溉管理資訊系統，農田水利會聯合會。